

Impatto dei cambiamenti climatici sul lago Trasimeno: tratti storici e prospettive future[§]

Alessandro Ludovisi^{1*}, Elda Gaino¹, Michele Bellezza², Stefano Casadei³

1 Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, Università degli Studi di Perugia, via Elce di Sotto – 06123 Perugia, Italy

2 T4E “one Technology four Elements”, Spin-off Università degli Studi di Perugia, Via G. Tilli 58 – 06127 Perugia, Italy

3 Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Borgo XX Giugno 74 – 06121 Perugia, Italy

* Referente per la corrispondenza: alessandro.ludovisi@unipg.it

Pervenuto il 20.1.2014; accettato il 19.3.2014

Riassunto

Il lago Trasimeno, il più esteso specchio lacustre dell'Italia peninsulare, è un biotopo acquatico poco profondo il cui bilancio idrico è strettamente dipendente dalle condizioni meteo-climatiche. La gestione idrica praticata nella prima metà del secolo scorso ha profondamente modificato le dinamiche ecosistemiche, determinando un significativo impatto sulla qualità dell'acqua e sulla biocenosi lacustre. L'ampliamento del bacino imbrifero, effettuato alla fine degli anni '50, permise un rapido recupero del lago, ma appare del tutto insufficiente a mantenere elevato il livello idrico del lago nel quadro climatico attuale. Nell'ultimo ventennio, l'aumento della temperatura ($\sim +1^\circ\text{C}$) e la diminuzione delle precipitazioni ($\sim -100\text{ mm}$) hanno causato una nuova fase critica per l'idrologia lacustre, con conseguente accumulo di sali, incremento dell'alcalinità e diminuzione della trasparenza delle acque. È stato recentemente stimato che qualora si verificassero le proiezioni climatiche più accettate, il lago potrebbe andare incontro a prosciugamento entro la fine del secolo corrente. Inoltre, le misure di mitigazione attualmente ipotizzate non sembrano sufficienti per scongiurare il rischio di prosciugamento. Tali previsioni sollecitano la pianificazione di lungimiranti politiche di gestione della risorsa idrica atte a garantire la persistenza dello specchio lacustre, presupposto essenziale per la tutela della biodiversità, del paesaggio, della ricchezza culturale e dell'economia del comprensorio lacustre.

PAROLE CHIAVE: cambiamenti climatici / gestione risorsa idrica / siccità

Impact of climate change on Lake Trasimeno (Umbria, Italy): historical changes and future perspectives

Lake Trasimeno, the largest lake of the Italian Peninsula, is a shallow lake whose water balance is strongly affected by meteo-climatic changes. The management interventions made at the beginning of the last century strongly modified the ecosystem dynamics, causing significant impact on the water quality and biocenosis of the lake. The enlargement of the catchment basin performed at the end of the 1950s allowed the lake to rapidly recover from drought, but seems ineffective to maintain high water levels in the current climate change phase. The increase of temperature ($+1^\circ\text{C}$) and the reduction of precipitation ($\sim -100\text{ mm}$) observed in the last two decades have caused a new critical phase for the hydrology of the lake, inducing also an increase in salt content and alkalinity, and a decrease in water transparency. It has been shown by simulation that critical prospects emerge if the intermediate or the maximum rates of change estimated via global climate models are assumed. Under these circumstances, currently feasible mitigation measures seem effective in preventing severe water shortage in the next decades, but ineffective in preventing the drainage of the lake in the second half of the century. We recommend that plans for water resource management should be put in place as a matter of urgency to ensure the conservation of the hydrologically vulnerable Lake Trasimeno.

KEY WORDS: climate change / water resource management / drought

INTRODUZIONE

Gli ecosistemi acquatici poco profondi sono diffusi in gran parte delle regioni bioclimatiche e rappresentano spesso “hot spot” di biodiversità. A causa della loro limitata inerzia termica e idrologica, questi ecosistemi sono estremamente sensibili ai cambiamenti meteorologici. Fenomeni di disseccamento, riscaldamento, salinizzazione e deterioramento della qualità dell'acqua, spesso amplificati da pratiche di sfruttamento della risorsa idrica e da inquinamento chimico, sono stati osservati negli ultimi decenni in laghi poco profondi dell'Africa centrale (lago Chad e lago Tonga – UNEP, 2006), dell'Europa sud-orientale (lago Balaton e lago Velence - Wantzen *et al.*, 2008) e dell'Australia sud-orientale (lago George - Beeton *et al.*, 2006), dove il rischio di siccità è ritenuto il più elevato a livello planetario (Bates *et al.*, 2008).

Gli effetti del disseccamento sulla qualità dell'acqua si amplificano all'approssimarsi di condizioni evaporative (bacino lacustre chiuso e apporti idrici inferiori alle perdite evaporative), come conseguenza della progressiva riduzione del livello idrico e dell'aumento del tempo di ricambio delle acque. In primo luogo, la riduzione del livello idrico provoca l'avanzamento della linea di costa, determinando la distruzione di habitat precedentemente occupati dalla fauna e dalla flora litoranea, che sono pertanto sottoposti a severo disturbo, particolarmente nella componente bentonica, come è stato evidenziato per specie di molluschi (Balogh *et al.*, 2008), macrofite acquatiche (Furey *et al.*, 2006) e spugne (Gaino *et al.*, 2012). La riduzione del livello idrico provoca, inoltre, l'incremento dei solidi sospesi e la riduzione della trasparenza delle acque per effetto dell'aumento della risospensione del sedimento indotta dal vento (Scheffer, 1998), cui si possono associare alterazioni dei processi di ciclizzazione dei nutrienti. In concomitanza con l'aumento dei tempi di ricambio idrico, la riduzione del livello idrico determina l'accumulo di sali e una ridotta diluizione dei carichi di nutrienti dal bacino. Le alterazioni nelle dinamiche dei nutrienti possono causare transizioni “catastrofiche” (sensu Scheffer, 1998) verso condizioni eutrofiche, con l'induzione di massicce fioriture di alghe e cianobatteri potenzialmente tossici, e conseguente aumento del rischio di crisi anossiche. La valutazione dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici correnti sull'idrologia dei sistemi acquatici poco profondi è pertanto di notevole interesse scientifico, conservazionistico e igienico sanitario.

Il lago Trasimeno (Umbria), il più esteso specchio lacustre dell'Italia peninsulare (area dello specchio ~ 121 Km²), è un lago poco profondo (profondità media ~ 4 m) di elevato rilievo naturalistico (sito S.I.C.,

Z.P.S. e Parco Regionale). A causa della limitata estensione del bacino idrografico (attualmente ~ 262 Km²) e dell'assenza di emissari naturali, il lago presenta un'elevata criticità in relazione ai cambiamenti climatici. La stretta dipendenza del bilancio idrico dalle condizioni meteorologiche ha causato eventi drammatici di piena e di secca nel corso dei secoli, inducendo interventi di regimazione sin dall'epoca etrusca e romana (Dragoni, 1982, 2004; Gambini, 1995). Ne sono esempi significativi la costruzione dell'emissario artificiale sotterraneo di S. Savino in epoca romana e le successive ristrutturazioni nel tardo medioevo e a fine XIX secolo.

Di seguito illustriamo i risultati di ricerche che consentono di tracciare alcune vicende ecologiche del lago Trasimeno nel corso dell'ultimo secolo conseguenti alle variazioni del livello idrometrico lacustre, utili a ricavare indicazioni sugli scenari prevedibili nel quadro attuale dei cambiamenti climatici.

TRATTI STORICI

L'andamento dei livelli idrometrici del Lago Trasimeno dalla fine del XIX secolo ad oggi è mostrato in figura 1. La ristrutturazione dell'emissario artificiale di S. Savino, completata alla fine del XIX secolo, ha innescato un progressivo abbassamento dei livelli idrometrici lacustri, cui contribuirono successivi abbassamenti della soglia di sfioro, fino alla drammatica crisi degli anni '50 del secolo scorso. È importante sottolineare che una tale riduzione della profondità delle acque ha provocato un cambiamento sostanziale nelle dinamiche fisico-chimiche e biologiche lacustri, determinando una transizione repentina (e probabilmente irreversibile) verso la condizione di lago poco profondo. Tale transizione è testimoniata, in modo eloquente, dalla variazione della frazione di superficie lacustre interessata dalla risospensione dei sedimenti indotta dal vento. Sulla base di modelli teorici, è possibile stimare che tale frazione sia passata da valori dell'ordine di qualche unità percentuale precedenti alla ristrutturazione dell'emissario, a valori dell'ordine del 90% a partire dagli anni '20 del secolo scorso (Gaino *et al.*, 2012).

Alcune conseguenze della transizione furono evidenti durante la crisi idrica degli anni '50 del secolo scorso: Moretti (1982) descrive come in quel periodo si sia verificata una significativa espansione delle macrofite acquatiche e una massiccia proliferazione di cianobatteri (*Microcystis*), alghe planctoniche (*Pseudociridium* e *Gymnodinium*) ed epifitiche (*Gloetrichia*). Il conseguente instaurarsi di condizioni anossiche nei fondali determinò un severo stress per molte componenti dell'ecosistema, particolarmente per le specie indigene dell'ittiofauna, come la rovello

(*Rutilus rubilio* B.).

Il progressivo abbassamento dei livelli idrometrici nel corso del XX secolo è stato inoltre accompagnato da un significativo declino dell'unica specie di spugna del lago (*Ephydatia fluviatilis* L.), come evidenziato dall'analisi di carote di sedimento lacustre (Fig. 2). *E. fluviatilis*, un tempo molto diffusa in forme massive di grandi dimensioni, è attualmente rinvenuta occasionalmente in piccole incrostazioni su rocce e substrati artificiali (Lancioni e Gaino, 2005). I meccanismi per i quali la riduzione del livello lacustre possa aver determinato il declino della spongofauna sono ragionevolmente da ricondurre a due principali effetti (non mutualmente esclusivi), basati sulle preferenze di substrato e sulla tolleranza della spugna rispetto alla quantità di solidi sospesi nella colonna d'acqua. Tenendo in considerazione le preferenze di *E. fluviatilis* per substrati duri, il declino osservato può essere direttamente interpretato come conseguenza dello spostamento della linea di costa verso zone progressivamente più dominate da sedimento soffice. D'altra parte, l'aumento dei solidi sospesi, indotto dalla risospensione di sedimenti, può aver determinato la progressiva occlusione del sistema acquifero delle spugne, rendendone difficoltosa l'attività di filtrazione.

L'ampliamento del bacino imbrifero del lago Trasimeno effettuato alla fine degli anni '50 del secolo scorso permise un rapido recupero del lago, ma questo intervento si è rivelato insufficiente a mantenere elevato il livello idrico del lago nel quadro climatico recente (Dragoni, 2004; Ludovisi e Gaino, 2010; Ludovisi *et*

al., 2011), anche associato alle misure definite nel Piano Stralcio 2001 dall'Autorità di bacino del Fiume Tevere, tra cui norme restrittive sui prelievi ad uso irriguo (Fig. 1). La progressiva alterazione del bilancio idrico, conseguente alle tendenze meteorologiche registrate nell'ultimo ventennio ($\sim +1^\circ\text{C}$ della temperatura dell'aria e ~ -100 mm di precipitazioni sulle medie

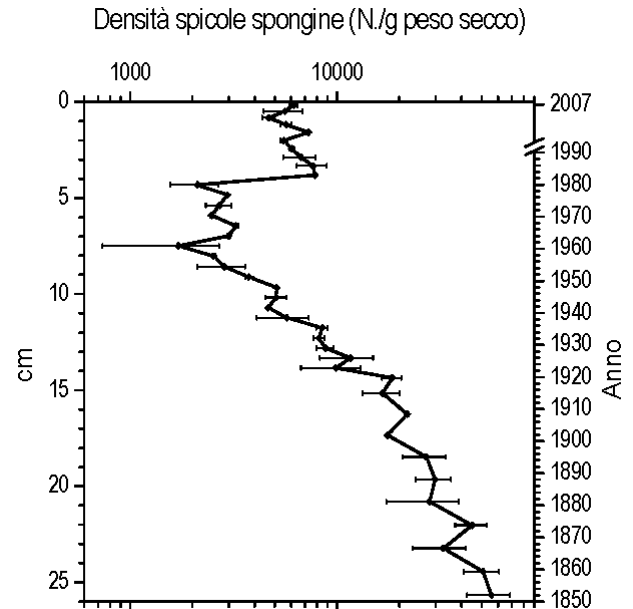


Fig. 2. Densità di resti silicei della spugna *Ephydatia fluviatilis* in una carota di sedimento del lago Trasimeno e relativa collocazione temporale (da Gaino *et al.*, 2012, modificato).

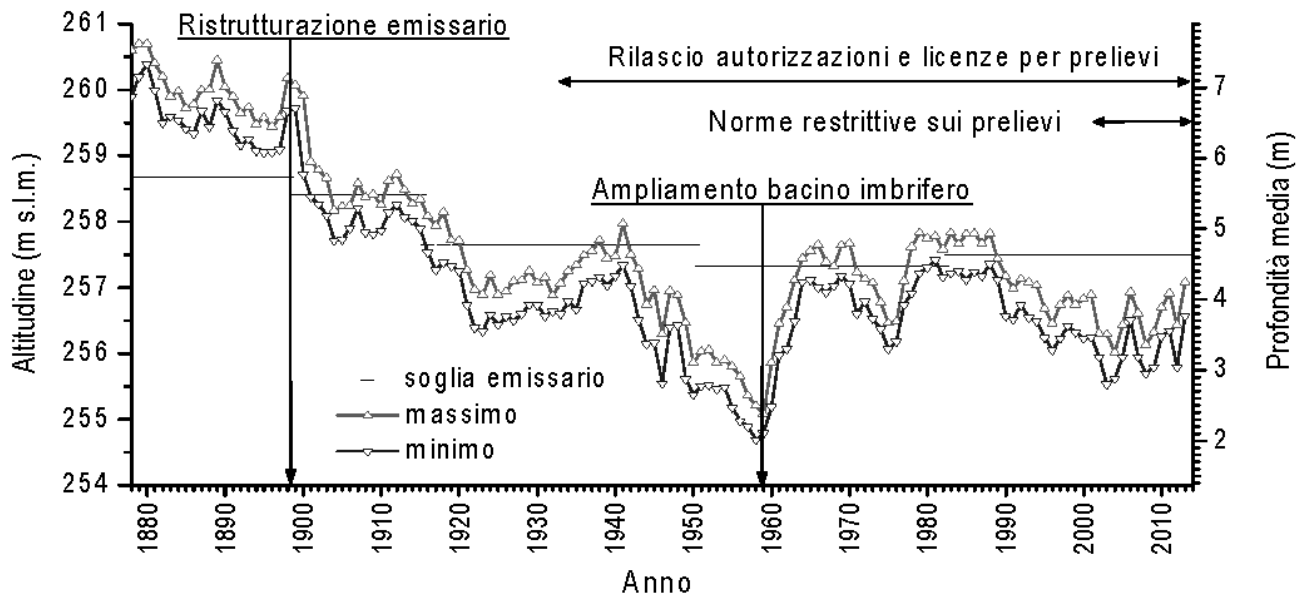


Fig. 1. Andamento dei livelli minimi e massimi annuali nel lago Trasimeno e principali interventi di regimazione idraulica dal 1878 al 2013 (da Ludovisi *et al.*, 2013, modificato).

annuali), ha causato una nuova riduzione del livello idrometrico e l'abbattimento del ricambio idrico. Corrispondentemente, è stato osservato (Ludovisi e Gai-
no, 2010; Ludovisi *et al.*, 2011) un progressivo accumulo di soluti ($\sim 3,5 \times 10^6$ Kg anno⁻¹) e una diminuzione della trasparenza delle acque (~ -1 m su base annua rispetto ai periodi di massimi livelli idrometrici), anche in assenza di cambiamenti apprezzabili nello stato trofico lacustre (Fig. 3). Nonostante i carichi di nutrienti siano tutt'altro che trascurabili nel bacino lacustre (Martinelli, 2011), le concentrazioni medie annue di fosforo totale e clorofilla *a* mostrano infatti modesta variabilità, intorno a valori che collocano il lago in uno stato trofico di soglia tra mesotrofia ed eutrofia, secondo la classificazione OECD (Vollenweider e Kerekes, 1982). Tale stabilità è spiegabile considerando che la concentrazione del nutriente limitante (fosforo solubile) è controllata da processi di precipitazione/adsorbimento (Giovanardi *et al.*, 1995; Ludovisi e Gai-
no, 2010), i quali determinano lo stoccaggio dei carichi di fosforo nei sedimenti lacustri. La riduzione della trasparenza è piuttosto riconducibile all'incremento della frazione inorganica di solidi sospesi erosa

dal sedimento superficiale, in accordo con le previsioni di modelli di risospensione in acque poco profonde (Gai-
no *et al.*, 2012). In aggiunta, è stato evidenziato un aumento di alcalinità (Fig. 3), coerente con quanto atteso in seguito alla modificazione del bilancio ionico lacustre (Ludovisi e Gai-
no, 2010). Per quanto riguarda la componente biologica, l'analisi di alcune serie storiche ha evidenziato come le recenti tendenze meteorologiche producano un impatto significativo sulla consistenza e composizione di popolazioni delle rane verdi nel bacino lacustre (Ludovisi *et al.*, 2014).

La crisi idrica registrata nello scorso decennio ha indotto le Autorità locali a pianificare interventi aggiuntivi di regimazione idrica, che includono l'ampliamento ulteriore del bacino idrografico lacustre (Casadei *et al.*, 1993) e l'adduzione di acque esogene da dighe limitrofe (Ubertini *et al.*, 2007). Il lago attraversa attualmente una fase caratterizzata da significative oscillazioni interannuali di livello, che, insieme alle tendenze meteorologiche osservate e alle previsioni climatiche avanzate per l'area mediterranea, sollecita un'accurata valutazione della situazione idrologica in una prospettiva di medio-lungo termine.

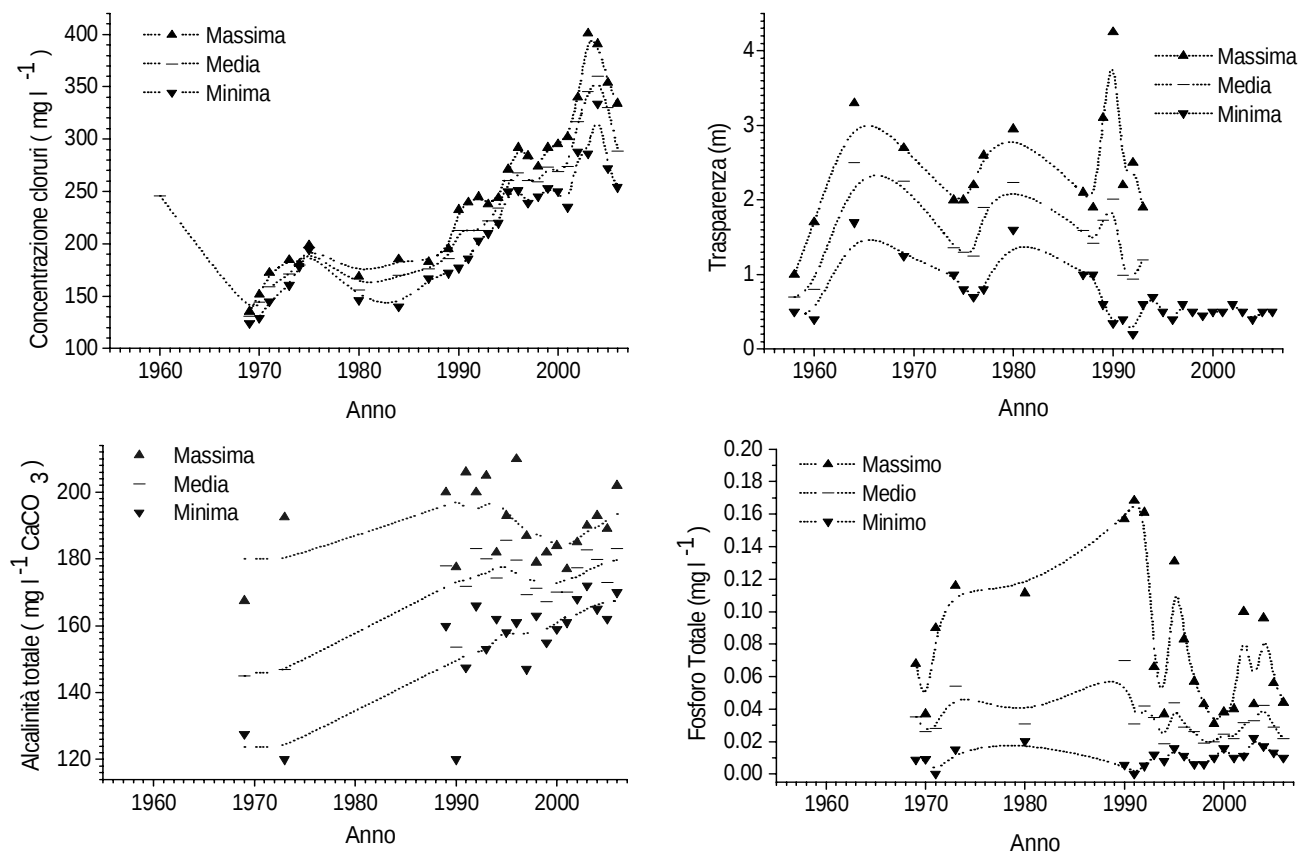


Fig. 3. Valori massimi, minimi e medi annuali di concentrazione dei cloruri, trasparenza dell'acqua (disco di Secchi), alcalinità totale e fosforo totale registrati nello strato superficiale del lago Trasimeno di fronte a Monte del Lago, nel corso dell'ultimo cinquantennio.

SCENARI FUTURI

Le proiezioni climatiche dell'International Panel on Climate Change (IPCC) (Christensen *et al.*, 2007; Bates *et al.*, 2008) indicano come estremamente probabile l'instaurarsi di condizioni siccitose nell'area mediterranea nel corso del secolo attuale. Tenendo conto di tali proiezioni, e considerando che il bilancio idrico del lago Trasimeno oscilla intorno a condizioni evaporative, il rischio che il lago possa andare incontro a severe crisi idriche in un futuro prossimo appare elevato. Di seguito illustriamo i risultati ottenuti da uno studio effettuato da Ludovisi *et al.* (2013) e finalizzato alla predizione degli effetti dei cambiamenti climatici sul livello idrometrico del lago Trasimeno. Lo studio è stato effettuato utilizzando un modello idrologico di tipo *lumped* (Ubertini *et al.*, 2007) che stima il bilancio idrico lacustre in funzione delle principali variabili meteorologiche (precipitazioni e temperatura dell'aria), nell'assunzione di completa impermeabilità del bacino lacustre. Previa calibrazione e validazione, il modello è stato applicato a fini predittivi utilizzando le proiezioni climatiche dell'IPCC (Christensen *et al.*, 2007) per l'Europa meridionale e mediterranea, secondo uno scenario A1B (Tab. I).

Vale la pena sottolineare che le tendenze osservate nell'ultimo trentennio nell'area del lago Trasimeno (+0,5 °C a decennio per la temperatura e -3% a decennio per le precipitazioni), peraltro in perfetto accordo con quelle registrate su scala nazionale (Brunetti *et al.*, 2006), sono prossime alle proiezioni IPCC più pessimistiche.

I dati mensili delle variabili meteorologiche registrati nel periodo di riferimento (1980-1999) sono stati replicati fino al 2090 e le variazioni previste, differenziate per stagione, sono state aggiunte alle repliche assumendo un tasso di variazione costante. Le seguenti tre serie di proiezioni sono state generate considerando combinazioni delle proiezioni mediane (Med), minime (Min) e massime (Max) di tabella I:

Scenario 1: Mediana per temperatura e precipitazioni (TMed-PMed)

Scenario 2: Minima per temperatura e massima per precipitazioni (TMin-PMax);

Scenario 3: Massima per temperatura e minima per precipitazioni (TMax-PMin).

Tale configurazione permette di esplorare uno spettro di variabilità climatica ragionevole, fornendo al contempo una misura dell'incertezza associata alle proiezioni mediane dell'IPCC. Con l'obiettivo di esaminare l'efficacia di diverse misure di mitigazione, gli scenari sopra illustrati sono stati combinati con le seguenti ipotesi gestionali, attualmente ritenute praticabili:

Mitigazione 1: mantenimento delle misure restrittive sui prelievi a 30 mm anno⁻¹;

Mitigazione 2: mantenimento delle misure restrittive sui prelievi a 30 mm anno⁻¹ + adduzione di 6 Mm³ anno⁻¹ da bacino esterno;

Mitigazione 3: abolizione dei prelievi + adduzione di 10 Mm³ anno⁻¹ da bacino esterno.

L'applicazione del modello idrologico su dati registrati nel trentennio 1980/2010 mostra che gli apporti idrici da precipitazioni (1126 mm anno⁻¹) hanno leggermente ecceduto le perdite per evaporazione (1056 mm anno⁻¹). In termini predittivi, il modello stima che le perdite per evaporazione bilanceranno gli apporti da precipitazioni nel decennio corrente o nel prossimo, qualora si realizzino gli scenari 3 e 1 rispettivamente. Solo nell'ipotesi di Scenario 2, la condizione evaporativa non è attesa prevalere nel secolo corrente. Le proiezioni sulle variazioni dei livelli idrometrici lacustri sono mostrate in figura 4. Solo nell'evenienza dello scenario più ottimistico (Scenario 2) il livello idrometrico del lago è atteso oscillare entro gli intervalli recentemente osservati senza raggiungere condizioni critiche. Nell'eventualità che si realizzino gli scenari 1 e 3, invece, ci si deve aspettare il progressivo depauperamento della risorsa idrica fino al prosciugamento del lago, nell'arco di alcuni decenni.

Tab. I. Proiezioni climatiche dell'IPCC (Christensen *et al.*, 2007) per l'Europa meridionale e mediterranea (30-48 N; 10W-40E), secondo uno scenario A1B. La tabella mostra i minimi, i massimi e le mediane delle variazioni previste per temperatura e precipitazioni in un set di 21 modelli climatici globali. Le variazioni esprimono la differenza tra il periodo 2080-2099 e quello di riferimento (1980-1999).

	Temperatura (°C)			Precipitazioni (%)		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max
Inverno	+1,7	+2,6	+4,6	-16	-6	+6
Primavera	+2,0	+3,2	+4,5	-24	-16	-2
Estate	+2,7	+4,1	+6,5	-53	-24	-3
Autunno	+2,3	+3,3	+5,2	-29	-12	-2
Annuale	+2,2	+3,5	+5,1	-27	-12	-4

È doveroso sottolineare che le proiezioni mostrate sono state ottenute non includendo nel bilancio idrico alcun prelievo per usi antropici. Le simulazioni effettuate considerando l'adozione delle ipotesi gestionali di mitigazione sopra indicate, mostrano che le attuali misure di mitigazione (Mitigazione 1) sono sufficienti a evitare l'instaurarsi di condizioni idriche critiche nei prossimi 80 anni nel caso in cui si realizzino le condizioni climatiche dello Scenario 2. D'altra parte, l'adozione delle misure di mitigazione più gravose (Mitigazione 2 e 3), anche se utile a ritardare l'instaurarsi di condizioni evaporative, appare del tutto inefficace ad evitare il prosciugamento del lago nel corso del secolo corrente, qualora si realizzassero gli scenari climatici 1 e 3.

CONCLUSIONI

L'esame dei dati storici ha mostrato che la gestione idrica praticata nella prima metà del secolo scorso ha profondamente modificato lo stato ecologico del lago Trasimeno, determinando un significativo impatto sulle dinamiche ecosistemiche e, conseguentemente, sulla fitness di alcune specie tipiche del lago, che hanno mostrato un evidente declino. La riduzione della fitness delle specie autoctone e la modificata disponibilità di habitat hanno certamente favorito la penetrazione di popolazioni di specie alloctone nel lago. Negli ultimi decenni, si è in effetti assistito all'ingresso e alla proliferazione di specie alloctone invasive, quali il mollusco

Dreissena polymorpha P. (Lancioni e Gaino, 2005) e il gambero della Louisiana *Procambarus clarkii* G. (Dörr *et al.*, 2006), oltre che di numerose specie ittiche (Lorenzoni e Ghetti, 2012). Oltre ad incidere sul valore naturalistico, la riduzione del livello delle acque ha avuto ricadute significative anche sui servizi ecosistemici offerti dal lago. Un'analisi del pescato commercializzato nel periodo immediatamente precedente e successivo all'intervento di ampliamento del bacino imbrifero del lago Trasimeno (anni 1956-80) ha infatti mostrato come la crisi idrica di quegli anni abbia avuto un impatto negativo sulla qualità e quantità del pescato (Mearelli *et al.*, 1990). La scarsa trasparenza delle acque, oltre ad incidere negativamente sul valore paesaggistico e ricreativo del litorale lacustre, ha spesso contribuito a vietare la balneazione in diverse stazioni turistiche circumlacuali.

L'esame del bilancio idrico lacustre ha evidenziato che le tendenze meteorologiche registrate nell'ultimo ventennio sono responsabili di una nuova fase critica per l'idrologia e, conseguentemente, per l'idrochimica e la biologia lacustre. Nel quadro idrologico attuale, le problematiche emergenti riguardano la mancanza di ricambio idrico, che amplifica diversi fenomeni di accumulo, tra i quali la salinizzazione delle acque e l'ispessimento dello strato sedimentario nei fondali. Il primo aspetto va tenuto nella dovuta considerazione, dal momento che una salinità pari al 5‰ rappresenta la soglia di tolleranza per le specie d'acqua dolce. Tale

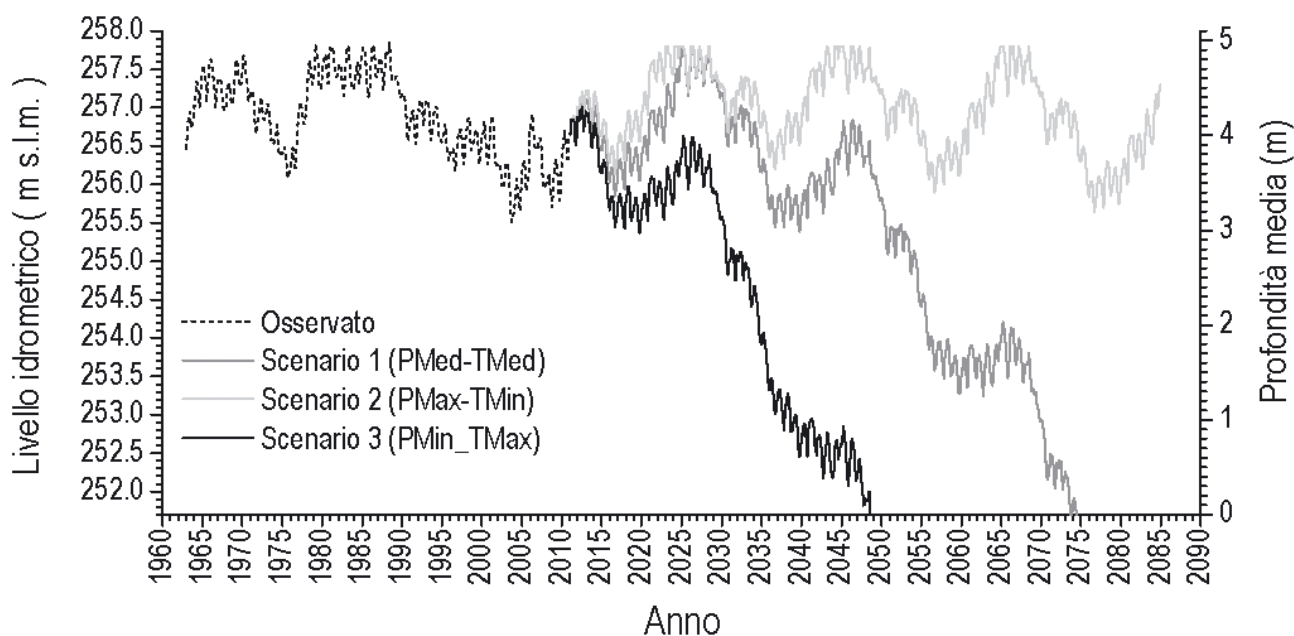


Fig. 4. Andamenti osservati e previsti per il livello idrometrico del lago Trasimeno nel periodo 1963-2090. Le proiezioni sono basate su ipotesi climatiche mediane (Scenario 1) e min-max (Scenari 2 e 3) ottenute utilizzando le proiezioni IPCC per l'Europa meridionale e mediterranea (scenario A1B).

soglia è lungi dall'essere raggiunta, ma il ritmo attuale di accumulo di sali determina crescente disturbo per le specie meno tolleranti, ed è in grado, in prospettiva, di determinarne la sostituzione a favore di specie alofile. È del tutto evidente che la mancanza di ricambio idrico impedisce anche la naturale rimozione di nutrienti e detrito dal lago, accelerando così l'ispessimento dello strato sedimentario (stimabile, su scala secolare, intorno ai 5 mm anno⁻¹ – Gaino *et al.*, 2012) e quindi l'interrimento del bacino lacustre.

Tuttavia, le problematiche appena esposte appaiono del tutto irrisorie se confrontate con i rischi potenziali che corre il lago Trasimeno nelle attuali prospettive di cambiamenti climatici. Come evidenziato dall'applicazione di un modello idrologico in termini predittivi, la possibilità che il lago Trasimeno possa prosciugarsi nell'arco del secolo in corso è da tenere in seria considerazione. Tale rischio assume carattere di ulteriore imminenza se si considera che gli eventi siccitosi estremi sono ritenuti progressivamente più frequenti nell'area mediterranea (Bates *et al.*, 2008).

L'insieme dei dati sopra illustrati sollecita la pianificazione di lungimiranti politiche di gestione idrica a tutela del corpo idrico, del paesaggio, della biodiversità, delle condizioni igienico-sanitarie del lago Trasimeno. Questo anche in considerazione del fatto che i servizi ecosistemici offerti dal lago sostengono una frazione rilevante dell'economia comprensoriale. Il

comparto turistico-alberghiero circumlacuale, intrinsecamente basato sul valore paesaggistico, ricreativo e culturale del lago, conta circa mezzo milione di presenze annue e funge da traino per le filiere agroalimentare, agrituristiche, ittiche e manifatturiera del comprensorio.

Il completamento delle opere idrauliche e l'attivazione delle forniture idriche a fini irrigui dagli invasi artificiali del Tevere e del Chiascio appaiono interventi da portare a compimento con la massima urgenza, al fine di sgravare il bilancio del lago di una voce di perdita non trascurabile e consentire la costituzione della massima riserva idrica. Tuttavia, qualora si verificassero le previsioni climatiche più impattanti sulla disponibilità idrica, tali interventi saranno probabilmente insufficienti a garantire la persistenza del lago, e l'adozione di misure che prevedono l'adduzione diretta di acque esogene potrebbe rivelarsi inevitabile. In tale eventualità, è doveroso raccomandare che accurate valutazioni di impatto siano effettuate, al fine di prevenire i rischi legati a fenomeni di interramento e inquinamento di tipo termico, chimico e biologico.

Come e più che in passato, il destino del lago Trasimeno è affidato alla capacità dell'uomo di gestire in modo appropriato le risorse naturali e mitigare gli impatti delle proprie azioni, sia a scala locale che globale.

BIBLIOGRAFIA

- Balogh C., Muskó I.B., Tóth L.G., Nagy L., 2008. Quantitative trends of zebra mussels in Lake Balaton (Hungary) in 2003-2005 at different water levels. *Hydrobiologia*, **613**: 57-69.
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008. *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Beeton R.J.S., Buckley K., Jones G.J., Morgan D., Reichelt R.E., Trewin D., 2006. *Australia State of the Environment 2006, Independent Report to the Australian State of the Environment Committee*. Canberra. Website: <http://www.environment.gov.au/soe/2006/publications/index.html>.
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T., 2006. Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, **26**: 345-381.
- Casadei S., Manciola P., Chander S., Gosain A.K., 1993. Relationships between Trasimeno lake watershed and hydrologic characteristics. In: Hamza, M.H. (Ed.), *Proceedings of the IASTED International Conference Modelling and Simulation*. IASTED 205, Pittsburgh, Pennsylvania USA, pp. 477-481.
- Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.T., Laprise R., Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P., 2007. Regional climate projections. In: Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds), *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York: 847-940.
- Dörr A.J.M., La Porta G., Pedicillo G., Lorenzoni M., 2006. Biology of *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) in Lake Trasimeno. *Bulletin Francais de la Pêche et de La Pisciculture*.

- ture, **380-381**: 1155-1168.
- Dragoni W., 1982. Idrogeologia del lago Trasimeno: sintesi, problemi, aggiornamenti. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **5**: 192-206.
- Dragoni W., 2004. *Il Lago Trasimeno e le variazioni climatiche*. Provincia di Perugia. Perugia, Italy.
- Furey P.C., Nordin R.N., Mazumder A., 2006. Littoral benthic macroinvertebrates under contrasting drawdown in a reservoir and a natural lake. *Journal of the North American Benthological Society*, **25**: 19-31.
- Gaino E., Scoccia F., Piersanti S., Rebora M., Bellucci L.G., Ludovisi A., 2012. Spicule records of *Ephydatia fluviatilis* as a proxy for hydrological and environmental changes in the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy). *Hydrobiologia*, **679**: 139-153.
- Gambini E., 1995. *Le oscillazioni di livello del Lago Trasimeno*. Quaderni del Museo della Pesca 2, Edizioni Era Nova, Perugia: 139 pp.
- Giovanardi F., Poletti A., Micheli A., 1995. Indagini sulla qualità delle acque del Lago Trasimeno – Idrochimica. *Acqua Aria*, **5**: 519-526.
- Lancioni T., Gaino E., 2005. Competition between the freshwater sponge *Ephydatia fluviatilis* (L.) and the zebra mussel *Dreissena polymorpha* (Pallas) in Lake Trasimeno (Central Italy). *Italian Journal of Zoology*, **72**: 27-35.
- Lorenzoni M., Ghetti L., 2012. Evoluzione della fauna ittica e problematiche gestionali del lago Trasimeno. In: Martinelli A. (ed.), *Tutela ambientale del lago Trasimeno*. Libri Arpa Umbria, Perugia: 227-242.
- Ludovisi A., Gaino E., 2010. Meteorological and water quality changes in Lake Trasimeno (Umbria, Italy) during the last fifty years. *Journal of Limnology*, **69**: 174-188.
- Ludovisi A., Gaino E., Bellezza M., Casadei S., 2013. Impact of climate change on the hydrology of the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): history, forecasting and management. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, **16**: 190-197.
- Ludovisi A., Rebora M., Goretti E., Scoccia F., Piersanti S., Gaino E., 2011. L'ecosistema del Trasimeno tra passato e futuro. In: Martinelli A. (ed.), *Tutela ambientale del Lago Trasimeno*. Libri Arpa Umbria, Perugia: 337-345.
- Ludovisi A., Rossi R., Paracucchi R., Selvaggi R., Fagotti A., Simoncelli F., Pascolini R., Di Rosa I., 2014. The delayed effects of meteorological changes on the water frogs in Central Italy. *Hydrobiologia* **730**: 139-152.
- Martinelli A., 2011. Il recupero ecologico del lago attraverso una gestione ambientale consapevole. In: Martinelli A. (ed.), *Tutela ambientale del Lago Trasimeno*. Libri Arpa Umbria, Perugia: 250-275.
- Mearelli M., Lorenzoni M., Mantilacci L., 1990. Il lago Trasimeno. *Rivista di Idrobiologia*, **29**: 353-390.
- Moretti G.P., 1982. *Déclin and renaissance du Lac Trasimène. Excursion Internationale de Phytosociologie en Italie centrale (2-11 juillet 1982)*. Università degli Studi di Camerino: 421-444. Website: http://www.trichoptera.it/web/images/stories/biblio_moretti/m233.pdf.
- Scheffer M., 1998. *Ecology of shallow lakes*. Chapman and Hall (Eds), London, UK.
- Ubertini L., Casadei S., Pierleoni A., 2007. Lakes Management in Umbria Region, Central Italy. In: Sengupta, M., Dalwani, R. (Eds.), *Proceedings of Taal 2007: 12th World Lake Conference*, pp. 1356-1364. Ministry of Environment and Forest, Government of India, Jaipur, India.
- UNEP, 2006. *Africa's Lakes: Atlas of Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme report. Website: <http://www.unep.org/themes/Freshwater/Publications/index.asp> (accessed 29.08.2011).
- Vollenweider R., Kerekes J., 1982. *Eutrophication of waters: monitoring, assessment and control*. Tech. Rep. OECD. OECD, Paris.
- Wantzen K.M., Rothhaupt K.O., Mörti M., Cantonati M., Tóth L.G., Fisher P., 2008. Ecological effects of water-level fluctuations in lakes: an urgent issue. *Hydrobiologia*, **613**: 1-4.